DIE MARKRÄUME

DER

KNOCHEN DER UNTEREXTREMITÄT

EINES FÜNFUNDZWANZIGJÄHRIGEN

UND

EINES ZWEIUNDACHTZIGJÄHRIGEN MANNES.

EINE VON DER MED. FAKULTÄT GEKRÖNTE PREISSCHRIFT

VON

HANS FRIEDRICH,
CAND. MED.

ROSTOCK.
UNIVERSITÄTS-BUCHDRUCKEREI VON ADLER'S ERBEN.
1888.

HERRN

PROFESSOR DR. VON BRUNN

IN DANKBARKEIT

GEWIDMET.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553607_0174

Die Aufgabe für das Jahr 1887, zu deren Ausarbeitung die medicinische Fakultät öffentlich aufforderte, lautet:

> *Es soll eine Untersuchung über die Markräume in den Knochen der Unterextremität ausgeführt werden. Ausser ihrer absoluten Grösse soll auch das Verhältnis ihres Volumens zu dem der Knochensubstanz, und zwar bei Individuen verschiedenen Alters festgestellt werden. — Als Untersuchungsmethode wird die Herstellung von Metallausgüssen dieser Räume mit darauf folgender Zerstörung der Knochensubstanz empfohlen.*

Unter den Begriff des Markraumes wird im Folgenden der Gesammthohlraum des Knochens zusammengefasst, soweit derselbe nicht von ernährenden Gefässen und Nerven eingenommen wird. Es gehört also dazu nicht nur die grosse Höhle der Diaphyse der langen Knochen, sondern ebenso auch die Kammern spongiöser Knochen und Knochenteile.

Eine in diesem Sinne angestellte Nachforschung, in wie weit Form und Grösse der Markhöhlen bereits beschrieben wäre, ergab ein völlig negatives Resultat. Weder in den gebräuchlichen Handbüchern der Anatomie fand ich eine Notiz darüber, noch auch ergab die Durchsicht

der mir zugänglichen Monographien von J. F. Blumenbach, F. Isenflamm, J. J. Sue, sowie der Korrosions-Anatomie von Hyrtl, letzterer auch in Bezug auf Technik, einen Aufschluss. Von der grossen Menge der Schriften über das Knochenmark, welche in den Henle-Meissner-schen und Hoffmann-Schwalbe'schen Jahresberichten der Anatomie und Physiologie von 1856 bis 1886 erwähnt und besprochen sind, enthielt keine eine Nachricht über die Ausdehnung dieses Organs. So ist denn für die folgende Untersuchung nur die Bestimmung von W. Krause benutzt worden, welche das spezifische Gewicht völlig gereinigter Knochensubstanz auf 1,8777 angiebt.

Material.

Die für die Untersuchung bestimmten Knochen sind die 31 Knochen der unteren Extremität eines 25jährigen Mannes, dessen Skelett also eben mit dem Wachstum abgeschlossen hat, und zum Vergleich die entsprechenden Knochen der unteren Extremität eines 82jährigen Greises, deren Osteoporose schon beim blossen Anblick hervorsticht. Dass diese Knochen von normalen männlichen Individuen stammen — die Verwachsung der beiden letzten Kleinzehenphalangen des jungen Mannes kann nicht stören — ist selbstverständlich, dagegen ist zu bemerken, dass deren Grösse, namentlich die des Greises, etwas über die mittlere hinausging.

Technik.

Bei der Untersuchung wurde folgende Arbeitsmethode angewendet. Zuerst wurden die macerirten Knochen gewogen, damit aus dem absoluten Gewicht mit Hülfe des spezifischen das Volumen bestimmt werden konnte, dann wurden sie mit einer Hülle versehen, erhitzt, mit Metall gefüllt und wiederum gewogen, darauf ihr Volumen zusammen mit dem des Metalls sowohl direct im Voluminometer als indirect aus der Gewichtszunahme und dem bekannten spezifischen Gewicht des Metalls bestimmt;

zuletzt wurde die Knochensubstanz aufgelöst und schliesslich das zurückgebliebene Metall im Apparat auf sein Volumen geprüft. Im Einzelnen sind die Vorgänge dabei folgende:

Um zunächst eine möglichst vollständig gereinigte Knochensubstanz herzustellen, sind die jungen Knochen 6 Wochen lang in warmem Wasser von etwa 30 ° gehalten worden, darauf zur Entfernung des zurückgebliebenen Fettes 14 Tage in Äther und ebenso lange in Alkohol gelegt, bis sich schliesslich die Waschflüssigkeit nicht mehr trübte. Die Greisenknochen sind anfangs ebenso behandelt, nachher aber die Entfettung in Benzin vorgenommen. Von den so bearbeiteten und gut getrockneten Knochen ist dann eine genaue Gewichtsbestimmung aufgenommen und daraus das Volumen der Knochensubstanz berechnet unter Zugrundelegung von W. Krause's Angabe des spezifischen Gewichts.

Nachdem war die Füllung der Hohlräume der Knochen vorzunehmen. Da diese Operation die schwierigste von allen zu werden schien, musste ich mich erst einüben, und habe zur Erlernung des Ausgiessens möglichst spongiöse Knochen wie Brustbein und Wirbel benutzt. Um eine Eingussstelle in den Knochen zu erzielen, ist entweder ein Stück Kortikalis abgeschnitten und sind damit die Taschen der Spongiosa frei gelegt, oder ein Loch von 1 bis 2 mm Querschnitt je nach Grösse der Knochen ca. 3 mm bis 3 cm lang in die Spongiosa hineingebohrt. Auf diese Öffnung ist dann eine Art Trichter von Gyps aufgemauert worden oder ein Stück Gummiröhre gesetzt, damit die Eingussstelle erweitert und zugleich das Metall durch seine eigene Schwere unter einen gewissen Druck gestellt würde. Damit nun das flüssige Metall nicht, wie es vom Quecksilber in einigen Lehrbüchern beschrieben wird, „in feinsten Tröpfchen an der Oberfläche der Knochen hervorquillen“ konnte, ist ein Mantel um den Knochen herumgelegt worden, der ent-

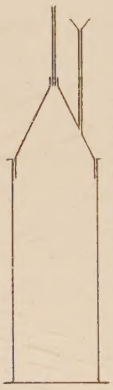
weder aus Gyps bestand oder aus Kollodium-Watte hergestellt wurde. Gyps hat den Vorzug schneller Handhabung, springt aber leicht ab und enthält Wasser, dessen Vorhandensein für die ausgiebige Injection sehr störend ist. Das Verfahren, durch Umlegen fein zerzupfter Watte um den Knochen und Durchtränkung derselben mit Kollodium eine feste Haut zu bilden, ist etwas zeitraubend, bietet aber eine sichere Haltbarkeit, ist reinlicher als das Arbeiten mit Gyps und liefert vor Allem eine trockene und zugleich leidlich durchsichtige Hülle, durch welche das Steigen des Metalls beobachtet werden kann. Die grösseren Vertiefungen an der Oberfläche der Knochen, über die sich das Kollodium bei seiner Kontraktion brückenartig würde hinweggespannt haben, sind vorher mit Gyps ausgefüllt worden. Jetzt war noch übrig, die Knochen im Thermostaten möglichst stark zu erhitzen, damit das Metall lange flüssig bleiben sollte und so Zeit hätte, bis in die äussersten Taschen der Spongiosa sich zu verteilen. Das benutzte Metall ist das Wood'sche, dessen Schmelzpunkt im hiesigen physikalischen Institut auf 53 ° C., dessen spezifisches Gewicht auf 9,6 bestimmt ist, etwas abweichend von den Angaben des Fabrikanten Dr. Schuchardt in Görlitz. Die Verflüssigung des in etwa spannelangen Stangen von 1 □cm Querschnitt gelieferten Metalls geschah im Löffel oder Tiegel, je nach der Menge, welche in einen Knochen einfliessen sollte. Den sich etwa dem Vordringen des Metalls entgegenstellenden Luftblasen ist durch unausgesetztes Aufklopfen ein Ausweg nach der Eingussstelle hin gebahnt worden.

Ob die Füllung gelungen war, erkannte man einerseits daran, dass eben nichts mehr hineinging, nicht zum wenigsten aber auch an der blau-grauen Farbe, welche die gefüllten Knochen überall da annahmen, wo die Kortikalis nicht besonders stark war. Stand es fest, dass ein grösserer Abschnitt des Knochenhohlraumes leer geblieben war, so wurde das ganze Metall unter Wasser

wieder ausgeschmolzen, der Knochen gehörig getrocknet und die Injection von Neuem vorgenommen. Konnte der Ausguss als vollständig angesehen werden, so ist nach sorgfältiger Entfernung des umhüllenden Mantels und des etwa zwischen diesen und die Knochenoberfläche gedrungenen Metalls wiederum eine genaue Wägung vorgenommen. Das Mehrgewicht gegenüber der ersten Gewichts-Bestimmung war das des eingedrungenen Metalls, woraus sich dessen Volumen ergab, wie es in der Tabelle I, II 6 angegeben ist.

Um jedoch die Rechnung mit ihren Fehlerquellen zu vermeiden, ist von Herrn Professor von Brunn ein besonderer Apparat konstruirt worden, der für jeden einzelnen Fall die direkte Ablesung des Volumens ermöglicht. Der Apparat, dessen schematischer Durchschnitt hier neben gezeichnet ist, besteht aus einem Standglas, genügend gross, um auch die grössten Knochen aufzunehmen. Auf den nach aussen umgelegten und eben geschliffenen Rand ist ein Deckel von konischer Form so aufgeschliffen, dass ohne Anwendung einer kompres-

siblen Substanz allein durch den innigen Kontakt der Schliffflächen ein Dichthalten erzielt ist. Der Deckel ist für den Einguss durchbohrt und die in die Öffnung hineingeschliffene Aufsatzröhre *a* bis zu ihrer Erweiterung, dem Eingusstrichter, graduiert. Die zweite Durchbohrung des Deckels ist bestimmt für das enge Ausflussrohr *b*, welches bis auf den Boden reicht, in der Höhe des Eingusstrichters zweimal rechtwinklig umgebogen ist, entsprechend dem Nullpunkt der Eingussröhre ebenfalls einen Nullpunkt trägt und von da bis zum Ende graduiert ist in derselben Weise, wie die Eingussröhre, so dass jeder cbcm in 10 Teile geteilt ist. Die Ausführung des Apparates war der bekannten Firma Dr. Geissler in Bonn übertragen. Von dieser Firma ist der zweite kleinere Apparat, für die kurzen Knochen bestimmt, welcher von Herrn Professor von Brunn nach demselben Modell angegeben war, eigenmächtig wohl aus praktischen Gründen dahin verändert, dass der konische Deckel in das kleine Standglas eingeschliffen, nicht auf den Rand desselben aufgeschliffen ist. Ausserdem trägt der Deckel zwei von ihm ausgehende Röhren, die keine Graduierung, sondern nur einen Nullstrich zeigen. Von diesen dient die mit einem kleinen Trichter versehene dem Einguss, die andere dem Ausweichen der Luft.



Die Funktion des grossen Apparates ist nun folgende. Es ist zunächst genau der Kubikgehalt desselben bestimmt auf Grundlage der Bürette. Damit nun die Füllung möglichst rasch von statten ginge, hat Herr Professor von Brunn ebenfalls aus Bonn Füllkolben kommen lassen. Dieselben zu $^1/_4$ und 1 Liter abgemessen, tragen an einem engen Hals 2 Markierstriche, von denen der untere den wirklichen Kubikgehalt angiebt, der Abstand aber zwischen dem unteren und dem darüber liegenden derjenigen

Flüssigkeitsmenge entspricht, welche nach dem Ausgiessen noch an den Gefässwänden haften bleibt. Füllt man den Kolben bis zu seiner oberen Marke, so ist man sicher, in ein anderes Gefäss wirklich genau $^1/_4$ oder ein volles Liter ausgiessen zu können. Mit diesen Kolben und der Bürette ist der Inhalt des Apparates bis zu den beiden Nullstrichen auf 9534,6 cbcm gemessen worden. Die durch das Eingiessen hervorgerufenen Luftblasen glitten an den Wänden des konischen Deckels bis zur Eingussstelle hin, ohne vorher haften zu können und eventuell das Resultat der Bestimmungen zu schädigen. Anfangs kamen nicht ganz übereinstimmende Resultate vor, als ich jedoch nach jeder Bestimmung den ganzen Apparat auf das sorgfältigste austrocknete und auf die Füllung der Kolben genau acht gab, unterschieden sich dieselben kaum merklich. Nachdem jetzt der Rauminhalt des Apparates bekannt war, wurde der ausgegossene, also nicht mehr lufthaltige Knochen hineingestellt, der konische Deckel aufgesetzt und zur Vermeidung von Verschiebungen mit drei Klemmschrauben fest gehalten und nun auf den Knochen 9534,6 cbcm Wasser gegossen. Es mussten jetzt soviele cbcm Wasser überfliessen — dasselbe wurde in der Bürette aufgefangen — oder in den graduierten Röhren des Apparates über den Nullstrichen stehen bleiben, als das Volumen des gefüllten Knochens ausmachte. Auf diese Weise ist z. B. der Oberschenkel des alten Mannes 4mal ausgemessen worden; das Volumen ergab sich: 616,6—618,3—617,8—617.3 cbcm. Diese Zahlen stimmen ziemlich genau überein mit denen, welche durch Rechnung unter Berücksichtigung des spezifischen Gewichts gewonnen worden sind aus dem Volumen der Knochensubstanz addiert zu dem des eingegossenen Metalls.

Das Arbeiten mit dem kleinen Voluminometer weicht insofern ab, als man nach Ausmessung des Inhaltes, welcher 341,3 cbcm beträgt, nicht diese ganze Wassermasse auf den eingelegten Knochen giesst, sondern den Apparat nach

Einlegung des Knochens eben wieder bis zum Nullstrich füllt. Die Differenz des nunmehrigen Kubikgehaltes gegenüber demjenigen des leeren Apparates giebt dann das Volumen des betreffenden gefüllten Knochens an. Da sich auch für den grossen Apparat diese Arbeitsmethode als zeitsparende erwies, ist derselbe ebenfalls auf letztere Art benutzt.

Um Schwankungen der Dichtigkeit des Wassers zu vermeiden, ist dasselbe während jeder Bestimmung auf 20 ° C. gehalten worden, derselben Temperatur, bei welcher das spezifische Gewicht des Metalls festgestellt ist. Damit diese Wärme unverändert bliebe, ist das grosse Voluminometer in ein Blechgefäss gesetzt worden, welches Wasser von 20 ° enthielt; mit diesem Wasser ist der Raum zwischen Glaswand und Blechwand ausgefüllt.

Nachdem die Bestimmungen des ausgegossenen intakten Knochens vorgenommen waren, konnte die Darstellung der Hohlräume beginnen. Zu diesem Zweck wurden die gefüllten Knochen in warme 5 % Kalilauge gebracht, welche im Thermostaten zwischen 40 und 50 ° erhalten wurde. Waren dieselben in dieser Kalilauge 8 Tage lang geblieben, so war die organische Substanz zerstört und das zurückgebliebene Metall konnte gereinigt werden. Leider bewirkt aber die Kalilauge keine Auflösung der gesamten Knochenmasse, sondern nur der organischen Substanz. Alle Versuche, die anorganischen Teile der Spongiosabälkchen aus dem Innern des Metalls herauszubekommen, sind gescheitert. Es war sogar geboten, wegen der Zartheit der Verbindungen zwischen den einzelnen Hohlraumbälkchen — die Präparate erlauben den Ausdruck — mit äusserster Vorsicht zu arbeiten. Daher ist denn mit Hülfe von Bürste und Wasserstrahl nicht viel mehr entfernt als die Kortikalis, so dass der weisse Knochenkalk überall zwischen dem Metall noch sichtbar geblieben ist. In der mangelhaften Maceration der Knochensubstanz liegt aber der Grund, weshalb die Bestimmung

des Hohlraumvolumens, d. h. des reinen Metalls durch das Voluminometer unbrauchbar wurde. So ist beispielsweise das Hohlraumvolumen des Oberschenkels des Greisen auf 414,3 cbcm berechnet, vom Apparat aber wird dasselbe auf 491,3 cbcm angegeben. Mithin sind 77 cbcm Knochensubstanz noch nach der Maceration zurückgeblieben. Würde ich, wie es die Absicht war, aus der Differenz zwischen dem Volumen des intakten gefüllten Knochens und demjenigen des von Knochensubstanz gereinigten Metalls das Volumen der Knochensubstanz an dem Voluminometer ablesen wollen, so würde dasselbe also viel zu klein erscheinen, nämlich 126,2 cbcm, während es 194 sein sollen. Es sind demnach die Bestimmungen des Apparates für das Resultat dieser Arbeit nicht als massgebend angesehen worden, sie sind nur teilweise in eine Nebentabelle aufgenommen, und sie werden erst dann für eine fernere derartige Untersuchung gültig werden, wenn es gelungen ist, ein Reagens zu finden, welches die Knochensubstanz vollständig auflöst, ohne das Metall anzugreifen. Letzteres ist aber so empfindlich, dass selbst schwache Säuren, wie 2 % und 1 % Essigsäure, womit die Zerstörung des anorganischen Teils der Knochensubstanz versucht ist, nicht unbedeutende Oxydationen hervorbrachten, bevor ein merklicher Einfluss auf die Knochensubstanz zu beobachten war.

Fehler.

Der Versuch, völlig gereinigte Knochensubstanz herzustellen, ist für die Knochen des jungen Individuums wohl nicht überall gelungen. Es zeigte sich nämlich bei einigen derselben eine weisse krümlige Masse, den Wänden der Spongiosa anliegend, zweifellos ein Rest des Knochenmarkes, der zwar die Füllung mit Metall nicht hinderte, aber doch weniger ausgiebig machte. Der Grund für das Zurückbleiben von Markgewebsdetritus ist vielleicht zu suchen in den zu engen Verbindungen der Hohlräume

der Spongiosa, welche ein Ausschwemmen des zerstörten Knochenmarkes erschwerten. Durch diesen Knochenmarksrest ist die Zuverlässigkeit der Gewichtsbestimmungen und des aus diesen berechneten Volumens etwas abgeschwächt. Aber auch die Ausfüllung der Hohlräume ist nicht bei jedem Knochen eine präzise. Wollte man davon absehen, dass neben dem Ausguss der wirklich Knochenmark beherbergenden Räume auch die Kanäle der ernährenden Gefässe und Nerven gefüllt sind, so bleibt doch zu beachten, dass bei vielen Knochen eine oder andere Stelle sich findet, nach welcher kein Metall gedrungen ist, entweder weil sich an diesen Stellen Luftblasen oder Wasserdampf bildete oder auch wegen Mangels an Druck. Dieser letztere Grund erklärt das häufige Vorkommen von Defekten in der Nähe der Eingussstelle, zumal dann, wenn dieselbe sich an einer hervorragenden Spitze und nicht an einer Fläche befindet. Zur Entschuldigung dieser Fehler im Ausguss muss nun angeführt werden, dass ein jedesmaliges Ausschmelzen nach Entdeckung dieser immerhin nur geringfügigen Defekte durchaus unstatthaft erschien. Denn einmal war ich nicht sicher, ob ich bei wiederholter Injektion nicht einen grösseren Defekt bekäme, und zweitens ist das Metall zu kostbar, als dass die bei jeder Verflüssigung desselben stattfindende Oxydation und damit Entwertung zu verantworten wäre. Endlich ist noch als störendes Moment der Ausguss der Havers'schen Kanäle bei den Greisenknochen zu erwähnen; die Kanäle gehören nicht zu den Markräumen, das sie ausfüllende Metall ist aber mitgewogen worden und danach mit für das Volumen verrechnet. Alle diese Fehler sind jedoch einerseits bei den vorhandenen Hilfsmitteln so unvermeidlich, andererseits auch so gering, dass denselben nach ihrer Erwähnung, die immerhin notwendig schien, eine besondere Bedeutung nicht beizumessen ist. Das zurückgebliebene Markgewebe ist an Gewicht und Volumen so minimal, die Defekte der Metallausgüsse und das Volumen der

ausgegossenen Havers'schen Kanäle so unbedeutend, dass eine Beeinträchtigung der Resultate nicht zu fürchten ist.

Resultat.

Form. Bei Betrachtung der gewonnenen Präparate zeigt sich die auffallende Erscheinung, dass die Metallausgüsse aller spongiösen Teile der Knochen die Form der intakten Knochen wiedergeben, so dass sofort zu sehen ist, welchen Knochen man im Ausguss vor sich hat. Erhöhungen und Vertiefungen sind durch das Metall fixiert, und es besteht der Unterschied nur darin, dass die unzerstörten Knochen eine zusammenhängende Kortikalis überdeckt, hier aber die ausgegossenen Taschen der Spongiosa die Oberfläche rauh erscheinen lassen und die Kanäle für Gefässe und Nerven gefüllt über die Oberflächenebene hervortreten. Die Gelenkflächen markieren sich scharf durch ein sehr dichtes Aneinanderstehen feinster Hohlraumbälkchen, so dass schon die blosse Betastung den Eindruck der Gelenkfläche erweckt. Sichtbare Altersunterschiede treten an spongiösen Knochen nicht besonders deutlich hervor, mit Ausnahme der Region des Schenkelsporns. Derselbe zeigt sich an dem jungen Oberschenkel in Gestalt mehrerer paralleler, $^1/_2$ bis 1 mm dicker Knochenplatten — leider war eine Entfernung derselben ohne Gefährdung des Metalls nicht möglich — eingekeilt und tief hineinragend in die Metallmassen. Dieselbe Stelle des alten Femur dagegen unterscheidet sich nicht von der Umgebung, das Metall hat hier Hohlräume ausfüllen können, wie überall am Schenkelhals. Die Oberfläche des Ausgusses der cylindrischen Markräume der alten Röhrenknochen ist hervorgehoben durch ein meist spindelförmiges oder plattes Balkenwerk von etwa 1 mm Querschnitt und $^1/_2$ bis 1 cm Länge, während dieselben Teile an den Ausgüssen der jungen Röhrenknochen eine fast glatte Oberfläche zeigen oder doch nur spärliches Balkenwerk. Ein Volumunterschied fällt gerade hier sehr

deutlich ins Auge. In die peripheren Teile der kompakten Substanz der Röhrenknochen des jungen Mannes war kein Metall gedrungen, dagegen zeigten sich die Havers'schen Kanäle bei den alten Knochen in der Umgebung des Markraumes vollständig gefüllt. Das feine Metallnetz bot ein höchst zierliches Bild und gab zugleich einen neuen Beweis für die bereits durch das Mikroskop konstatierte Thatsache, dass die Altersosteoporose auch die Lumina der Havers'schen Kanäle erweitert.

Von denjenigen Knochen, welche einen Altersunterschied im Ausguss schon durch Betrachtung klar erkennen lassen, ist eine photographische Aufnahme gemacht worden. Das grössere Bild giebt die Röhrenknochen wieder, den Calcaneus, 2. Metatarsus und die Phalangen der zweiten Zehe. Durch Gegenüberstellung der intakten trockenen Knochen der linken Extremität desselben Individuums wird gezeigt, wie jeder Ausguss spongiöser Teile fast als Abguss derselben erscheint, wie also das Metall in alle vorhandenen Hohlräume der Knochen eingedrungen ist und die Gestalt derselben angenommen hat. Die Ausgüsse der 25jährigen Röhrenknochen und die der 82jährigen zeigen in ihren Mittelstücken den Altersunterschied, erstere einen dünnen, fast glatten cylindrischen Stab, letztere einen relativ dicken, mit Hohlraumbälkchen bedeckten Diaphysenteil. Das zweite kleinere Bild stellt die vier Hüftbeine dar im Ausguss und als getrocknete Knochen. Auch an diesen Präparaten ist der Volumunterschied des Ausgusses der jungen Knochen dem der alten gegenüber gut zu erkennen, besonders an den Ästen der Scham- und Sitzbeine. Die Hinterwand der Gelenkpfanne des jungen Hüftbeins führte keine Spongiosa, daher fehlt die Metallausfüllung an dieser Stelle.

Grösse. Die einzelnen Zahlen, welche zum Resultat geführt haben, sind in Tabellenform zusammengestellt, von denen die I. die Bestimmungen der Knochen des jungen Mannes enthält, die II. die der Greisenknochen, die III. die

Beziehungen angiebt, welche zwischen den Grössen des ausgewachsenen und des alten Mannes bestehen. Da die jugendlichen Knochen kleiner sind, als die alten, so mussten an die Spitze aller Aufzeichnungen die Angaben über die grösste Längsausdehnung derselben gestellt werden. Am jungen Femur lagen die entferntesten Punkte 43,1 cm auseinander, am alten 47,7 cm, an der Tibia 35 und 37,9 cm, am 1. Metatarsus spannte der Tastenzirkel 6,6 und 7 cm. Das Verhältnis, in welchem die Länge der jungen Knochen zu der der alten Knochen steht, ist im Mittel 1 : 1,117. Umgekehrt verhalten sich die Trockengewichte der Knochen: Hat die untere Extremität des jungen Mannes ein Gesammtgewicht von 1038,9 gr, so wiegen die alten Knochen trotz ihrer grösseren Länge zusammen nur 898,67 gr, und im Mittel verhalten sich die Gewichte denen der alten Knochen gegenüber wie 1 : 0,902. Die dritte Rubrik enthält die Gewichtsbestimmungen der mit Metall gefüllten Knochen, sie dient zur Berechnung des Gewichtes des eingegossenen Metalls, welches in der 4. Kolumne angegeben ist.

Der eigentlichen Lösung der Aufgabe dienen die nun folgenden Bestimmungen der Volumina. Zuerst ist unter 5 das Volumen der Knochensubstanz aufgezählt, dasselbe zeigt, ebenso wie das Gewicht, das mehr der jungen Knochen gegenüber den alten, nemlich 555,15 cbcm gegen 479,16 und ein mittleres Verhältnis von 1 : 0,906. *) Den 25jährigen Oberschenkel fand ich 200 cbcm gross, den alten 194, die Volumina verhielten sich wie 1 : 0,97 (III, 3); ein ähnliches Verhalten zeigten einige Zehenphalangen. Das Hüftbein des Ausgewachsenen war 107 cbcm gross, das alte 88, die Volumina verhielten sich wie 1 : 0,82. Das Volumen des trockenen Calcaneus war 23 cbcm und 16,6, das Verhältnis zeigte 1 : 0,7.

*) Die geringe Differenz dieses Verhältnisses gegenüber demjenigen der Trockengewichte erklärt sich aus dem Verzicht auf mehr als zwei Decimalstellen bei der Berechnung.

Endlich zeigt die 6. Rubrik den interessantesten Teil der Arbeit, das bisher noch unbekannte Volumen des Hohlraumes der einzelnen Knochen. Dem Aussehen der Präparate nach mussten die Hohlräume von gewaltiger Grösse sein. In der That zeigten sich dieselben bei den jungen Knochen etwas, bei den Greisenknochen sehr viel grösser, als das Knochensubstanzvolumen betrug. So hat z. B. der Oberschenkel des jungen Mannes bei einem Knochensubstanzvolumen von 200 cbcm ein Hohlraum-Volumen von 252,6 cbcm, und es besteht ein Verhältnis dieser beiden Volumina wie 1 : 1,26. Ganz ähnlich verhalten sich die übrigen Röhrenknochen mit Ausnahme der Fibula, die kurzen Knochen dagegen zeigen ein etwas höheres Hohlraumvolumen. So hat der Calcaneus 23 cbcm Knochen und 38 cbcm Höhle; das Verhältnis der beiden Volumina ist 1 : 1,65. Relativ am grössten ist der Markraum des Cuboideum, es enthält auf 4,3 cbcm Knochensubstanz einen Hohlraum von 8 cbcm, mithin verhalten sich die beiden Volumina wie 1 : 1,88. Gerade entgegengesetzte Angaben fanden sich bei der Patella, dieselbe enthält auf 7,5 cbcm Knochen nur 4 cbcm Höhlung und zeigt ein Verhältnis von Knochensubstanz zum Hohlraum wie 1 : 0,53. Eine Ausnahmestellung nimmt, wie oben bemerkt, die Fibula ein. Schon das Präparat lässt einen geringen Hohlraum erkennen: die Untersuchung ergab eine Knochensubstanzmenge von 27 cbcm und darin einen Hohlraum von nur 18 cbcm, mithin ein Volumverhältnis von 1 : 0,66.

Die Greisenknochen lassen die Osteoporose durch die Berechnung des Hohlraumvolumens viel klarer erkennen, als es bisher nach den Gewichtsbestimmungen möglich war. So sieht man z. B. (II, 5, 6, 7), dass der Oberschenkel bei einem Knochengehalt von 194 cbcm ein Hohlraumvolumen besitzt von 414,3 cbcm, und ein Verhältnis der beiden Volumina besteht wie 1 : 2, 13. Auch beim Greise stehen die Volumina von Knochensubstanz

und Hohlraum der Röhrenknochen, die Fibula diesmal mit inbegriffen, alle ungefähr im gleichen Verhältnis und die Fusswurzelknochen sind wieder durchweg etwas bedeutender an Hohlraum; der Calcaneus also hat 16,6 cbcm Knochen und 64,5 cbcm Höhle, und zeigt ein Verhältnis von 1 : 3,95. Relativ am grössten ist auch beim Greise der Hohlraum des Cuboideum gefunden worden; dasselbe enthält auf nur 3 cbcm Knochen 14,6 cbcm Hohlraum, mithin verhält sich Knochensubstanz zum Hohlraum wie 1 : 4,9. Die Patella zeigt beim Greise ebenso wie beim ausgewachsenen Individuum eine relativ grosse Menge Knochensubstanz, nemlich 6,2 cbcm, und ein relativ kleines Hohlraumvolumen, nemlich 11,3 cbcm, so dass sich beide Volumina verhalten wie 1 : 1,7, während das mittlere Verhalten von Knochensubstanz zum Hohlraum bei allen Knochen der unteren Extremität des Greises zusammengenommen = 1 : 2,65 gefunden wurde (II, 7).

Die Summen der Volumina der 25jährigen und der 82jährigen Knochen ergeben nun Hohlräume von 640,508 cbcm und von 1183,8 cbcm, und das mittlere Verhältnis dieser Hohlräume zu einander ist 1 : 2,07 (III, 4). Der Vergleich der Hohlräume der einzelnen Knochen des Mannes und des Greises zeigt einige Abweichungen von diesem mittleren Verhalten. So verhalten sich die Hohlräume der Oberschenkel wie 1 : 1,64; der Kniescheiben wie 1 : 2,8; der Calcanei wie 1 : 17. Am grössten sind die Hohlräume der alten Zehenphalangen gegenüber denen der jungen: die 3. Endphalangen zeigen z. B. ein Verhältnis von 1 : 3,7 (III, 4).

Mit Ausnahme der Länge sind jedoch die angegebenen Altersverhältnisse insofern nicht einwandsfrei, als die alten Knochen ja an und für sich grösser sind, und bei Reduktion auf die den jungen Knochen analogen Grössen ihr Trockengewicht und die Volumina der Knochensubstanz und des Hohlraumes kleiner werden und dem entsprechend die Verhältnisse sich ändern würden. Ohne dass eine

solche Reduktion vorgenommen wäre, welche doch kaum ein annähernd richtiges Resultat würde liefern können, erhält man dennoch einen vorzüglichen Überblick über den Volumensunterschied zwischen den Hohlräumen der alten und der jungen Knochen durch Berechnung des Verhältnisses, in welchem das Volumen der Knochensubstanz zu dem des Hohlraumes steht (I, II, 7) und Vergleichung dieser Verhältnisse unter einander (III, 5), denn man erhält dadurch Angaben, welche von absoluten Grössen unabhängig sind. Setzt man also das Verhältnis von Knochensubstanz zum Hohlraum, wie es beim jungen Manne gefunden wurde, = 1, so muss man, wie die letzte Rubrik der Vergleichstabelle zeigt, dasselbe Verhältnis für Greisenknochen zu 2,436 annehmen. Obgleich für einzelne Knochen nicht unwesentliche Abweichungen bestehen, und z. B. die Zahlen für die Hüftbeine auf 1 : 3,04 sich stellen; für die Oberschenkel 1 : 1,76; die Wadenbeine 1 : 3,6; die 1. Metatarsi 1 : 1,7 (III, 5), so glaube ich doch bei der leidlichen Übereinstimmung der Verhältnisse (III, 5), wie sie für die übrigen Knochen gefunden wurden, die Behauptung aufstellen zu dürfen, dass ein Knochen einer normalen, männlichen, unteren Extremität im Alter so viel an Knochensubstanz verliert, dass das Volumen derselben vom Hohlraumvolumen mindestens zwei Mal übertroffen wird.

Wollte man nun von den für die untere Extremität gefundenen Werten aus auf ein ganzes Skelett schliessen, indem man sich vergegenwärtigte, wie in der unteren Extremität alle Knochentypen, die platten, langen und kurzen vertreten wären, so würden folgende etwas überraschende Angaben zu machen sein. Auf 1 gr Knochensubstanz des ausgewachsenen Individuums berechnete sich ein Hohlraumvolumen von 0,616 cbcm. Ein Skelett von 4500 gr würde also einen Hohlraum beherbergen von 2772 cbcm, d. h. es würde ein Organ enthalten haben, dessen Volumen das der Leber noch um 1000 cbcm über-

troffen hätte. Für die senile Halisterese dagegen würden sich die Angaben noch auffallender gestalten. Ein Gramm Knochensubstanz enthielte beim Greise ein Hohlraumvolumen von 1,317 cbcm. Ein Skelett also von etwa 3900 gr würde ein Knochenmark umschlossen haben von 5136 cbcm.

Sind diese letzten Berechnungen nun auch etwas problematisch, so wird man ihnen doch einiges Interesse nicht versagen können, denn sie geben in bestimmten Zahlen Aufschluss über die Ausdehnung eines wichtigen Organs und bestätigen ebenfalls durch genaue Volumbestimmungen die bis dahin nur dem Gewichte nach bekannte Altersosteoporose.

I. Untere Extremität eines

Bezeichnung der Knochen.		1. Grösster Längsdurchmesser.	2. Gewicht der Knochensubstanz.	3. Gewicht der Knochen nach Einguss von Metall.	4. Gewicht des eingegossenen Metalls.	5. Volumen der Knochensubstanz.
Os coxae		20,7	201	1229	1028	107
Femur		43,1	375	2800	2425	200
Tibia		35	248	1714	1466	132,08
Fibula		34,1	51	223	172	27
Patella		3,4	14	51	37	7,5
Calcaneus		8	43	409	366	23
Talus		6	29	212	183	15,5
Naviculare		4,1	7,7	60	52,3	4,1
Cuboideum		3,9	7,9	81	73,1	4,3
Cuneiforme	1	4	7,2	54	46,8	4
	2	2,6	2,8	17	14,2	1,5
	3	3	3,5	28,5	25	1,9
Metatarsus	1	6,6	13,5	97	83,5	7,2
	2	7,4	6,8	31	24,2	3,6
	3	6,8	5,5	31	25,5	3
	4	6,6	5	36	31	2,7
	5	7	5,4	37	31,6	3
Grundphalanx	1	3,9	5	26,5	21,5	2,7
	2	3,2	1,6	8	6,4	0,9
	3	2,8	0,9	5,25	4,35	0,5
	4	2,6	0,9	5	4,1	0,5
	5	2	0,8	4,5	3,7	0,4
Mittelphalanx	2	1,6	0,2	2	1,8	0,1
	3	1,3	0,2	1,9	1,7	0,1
	4	1	0,2	1,9	1,7	0,1
(verwachs.m.Endph.)	5	1,5	0,3	2,5	2,2	0,16
Endphalanx	1	2,7	1,9	12,5	10,6	1,01
	2	1	0,2	1,5	1,3	0,1
	3	1	0,2	1	0,8	0,1
	4	1	0,2	1	0,8	0,1
			1038,9	7184,05	6145,15	555,15

fünfundzwanzigjährigen Mannes.

6.	7. *)	Bestimmungen mittels des Voluminometers.				
Volumen des Hohlraumes	Verhältnis d. Volumens d. Knochensubstanz z. Volumen des Hohlraumes.	Volumen des mit Metall gefüllten Knochens.	Volumen des Hohlraumes.	Volumen der Knochensubstanz.	Verhältnis d. Volumens d. Knochensubstanz z. Volumen des Hohlraumes.	Volumen der im Metall zurückgebliebenen Knochensubstanz.
107	**1**					
252,6	**1,26**	464,7	342,4	122,3	2,8	89,8
152,7	**1,16**	281,8	190,7	81,1	2,3	38
18	**0,66**					
4	**0,53**					
38	**1,65**					
19	**1,2**	36,3	31,6	4,7	8	12,6
5,4	**1,3**					
8	**1,88**	12	10,9	1,1	10	2,9
5	**1,25**					
1,5	**1**					
2,6	**1,368**					
8,7	**1,25**	15,8	12,8	3	4,2	4,1
2,5	**0,7**					
2,7	**0,9**					
3,2	**1,2**					
3,3	**1,1**					
2,2	**0,8**					
0,648	**0,72**					
0,44	**0,88**					
0,4	**0,8**					
0,4	**1**					
0,2	**2**					
0,2	**2**					
0,2	**2**					
0,23	**1,4**					
1,1	**1**					
0,13	**1,3**					
0,08	**0,8**					
0,08	**0,8**					
640,508	Mittel: **1,1636**					

*) Die Zahlen beziehen sich auf das Volumen der Knochensubstanz, welches = 1 gesetzt ist.

II. Untere Extremität eines

Bezeichnung der Knochen.		1. Grösster Längsdurchmesser.	2. Gewicht der Knochensubstanz.	3. Gewicht der Knochen nach Einguss von Metall.	4. Gewicht des eingegossenen Metalls.	5. Volumen der Knochensubstanz.
Os coxae		23,5	165	2730	2565	88
Femur		47,7	363	4340	3977	194
Tibia		37,9	200	2710	2510	106,5
Fibula		37,6	39	518	479	20,8
Patella		4,7	11,7	118	106,3	6,12
Calcaneus		8,7	31	650	619	16,6
Talus		7	24,9	374	349,1	13,3
Naviculare		4,6	6,95	111	104,05	3,7
Cuboideum		4,7	5,7	145	139,3	3
Cuneiforme	1	4,5	5,1	86	80,9	2,7
	2	2,9	2,75	41	38,25	1,4
	3	3,5	3	63	60	1,6
Metatarsus	1	7	11,35	137	125,65	6
	2	7,4	5,35	53	47,65	2,9
	3	6,9	4	53	49	2,1
	4	6,7	4,2	51	48,8	2,2
	5	7,1	4,95	53	48,05	2,6
Grundphalanx	1	4,1	4,3	37	32,7	2,3
	2	3,2	1,05	12,7	11,65	0,5
	3	2,9	0,8	8,9	8,1	0,4
	4	2,8	0,7	9	8,3	0,4
	5	2,7	0,65	8,3	7,65	0,35
Mittelphalanx	2	1,7	0,4	5,3	4,9	0,2
	3	1,5	0,3	4,5	4,2	0,2
	4	1,2	0,2	2,5	2,3	0,1
	5	1	0,1	2	1,9	0,05
Endphalanx	1	2,8	1,55	18,4	16,85	0,8
	2	1,3	0,2	2,84	2,64	0,1
	3	1,3	0,2	2,7	2,5	0,1
	4	1,1	0,15	1,9	1,75	0,08
	5	1,1	0,12	1,75	1,63	0,06
			898,67	12350,79	11452,12	479,16

zweiundachtzigjährigen Greises.

6.	7. *)	Bestimmungen mittels des Voluminometers.				
Volumen des Hohlraumes	Verhältnis d. Volumens d. Knochensubstanz z. Volumen des Hohlraumes.	Volumen des mit Metall gefüllten Knochens.	Volumen des Hohlraumes.	Volumen der Knochensubstanz.	Verhältnis d. Volumens d. Knochensubstanz z. Volumen des Hohlraumes.	Volumen der im Metall zurückgebliebenen Knochensubstanz.
267	**3,04**					
414,3	**2,11**	617,5	491,3	126,2	4	77
261,5	**2,45**	374,5	303,9	70,6	4	41,9
50,1	**2,4**					
11,3	**1,8**					
64,5	**3,95**					
36,4	**2,7**	53,3	52	1,3	40	9
10,8	**2,9**					
14,6	**4,9**	17,6	17,4	0,2	87	2,8
8,4	**3,1**					
4	**2,9**					
6,2	**3,9**					
13,09	**2,18**	19,4	16,3	3,1	5,2	3,3
5	**1,7**					
5	**2,3**					
5	**2,3**					
5	**2**					
3,4	**1,5**					
1,2	**2,4**					
0,9	**2,2**					
0,9	**2,2**					
0,8	**2,3**					
0,6	**3**					
0,44	**2,2**					
0,24	**2,4**					
0,2	**4**					
1,8	**2,25**					
0,3	**3**					
0,3	**3**					
0,2	**2,5**					
0,17	**2,8**					
1183,84	Mittel: **2,65**					

*) Die Zahlen beziehen sich auf das Volumen der Knochensubstanz, welches = 1 gesetzt ist.

III. Vergleich zwischen den Grössen der jungen und alten Knochen.

Bezeichnung der Knochen.		1. Verhältnis des grössten Längsdurchmessers.	2. Verhältnis der Trockengewichte.	3. Verhältnis der Volumina der Knochensubstanzen.	4. Verhältnis der Volumina der Hohlräume.	5. Beziehung der Verhältnisse d. Vol. d. Knochensubstanz z. Vol. d. Hohlraumes zu einander.
Os coxae		1,135	0,82	0,82	2,5	**3,04**
Femur		1,106	0,97	0,97	1,64	**1,76**
Tibia		1,082	0,8	0,8	1,7	**2**
Fibula		1,102	0,77	0,76	2,8	**3,6**
Patella		1,4	0,83	0,83	2,8	**3,4**
Calcaneus		1,08	0,72	0,7	1,7	**2,4**
Talus		1,166	0,86	0,86	1,9	**2,25**
Naviculare		1,121	0,9	0,9	2	**2,2**
Cuboideum		1,205	0,72	0,7	1,8	**2,6**
Cuneiforme	1	1,12	0,7	0,7	1,7	**2,5**
	2	1,115	0,98	0,93	2,7	**2,9**
	3	1,116	0,86	0,84	2,4	**2,85**
Metatarsus	1	1,06	0,84	0,85	1,5	**1,7**
	2	1	0,8	0,8	2	**2,4**
	3	1,015	0,73	0,7	1,8	**2,4**
	4	1,015	0,84	0,8	1,5	**2**
	5	1,015	0,9	0,86	1,5	**1,8**
Grundphalanx	1	1,05	0,86	0,85	1,5	**1,9**
	2	1	0,7	0,55	1,8	**3,3**
	3	1,03	0,9	0,8	2	**2,5**
	4	1,07	0,8	0,8	2,2	**2,7**
	5	1,35	0,8	0,88	2	**2,3**
Mittelphalanx	2	1,06	2	2	3	**1,5**
	3	1,15	1,5	2	2,2	**1,1**
	4	1,2	1	1	1,2	**2,2**
Endphalanx	1	1,04	0,8	0,8	1,6	**2,25**
	2	1,18	1	1	2,3	**2,3**
	3	1,3	1	1	3,7	**3,7**
	4	1,1	0,75	0,8	2,5	**3,1**
		Mittel: 1,117	Mittel: 0,902	Mittel: 0,906	Mittel: 2,07	Mittel: **2,436**

Anm. Bei der Vergleichung sind die betreffenden Grössen, wie sie beim jugendlichen Individuum gefunden wurden, = 1 gesetzt, und die angegebenen Zahlen beziehen sich darauf. Die Zahlen unter 5 beziehen sich auf das Verhältnis von Knochensubstanz zum Hohlraum unter I, 7, welches hier = 1 gesetzt ist; beim Hüftbein wegen mangelhafter Füllung des jugendlichen Knochens nicht ganz zuverlässig.

Erklärung der Tafeln.

Die Tafeln stellen Spiegelbilder der Präparate dar.

I. Auf der rechten Hälfte des Bildes rechts der Ausguss des rechten Hüftbeines des 25jährigen Mannes. Defekt der Spinae anteriores, der hinteren und oberen Wand der Pfanne. Sägeschnitt oberhalb der Pfanne, von dem aus die Metallinjektion vorgenommen ist. Links daneben das linke getrocknete und intakte Hüftbein desselben Individuums. Auf der linken Seite des Bildes die Präparate der Hüftbeine des 82jährigen Greises in derselben Anordnung. Im Ausguss des alten Hüftbeines geringer Defekt unterhalb der Spina anterior superior. Sägeschnitt wie beim Hüftbein des jungen Mannes.

II. Am weitesten rechts die Ausgüsse der langen Knochen, des Calcaneus, 2. Metatarsus und der Phalangen der 2. Zehe der unteren Extremität rechterseits des 25jährigen Mannes. In der Mitte des Ausgusses des Oberschenkels — sowie an fast allen anderen Röhrenknochenausgüssen — eine Bruchstelle, an der tibialen Gelenkfläche desselben ein Defekt im Ausguss. Links neben den Ausgüssen die entsprechenden getrockneten und intakten Knochen der linken Seite derselben Extremität. Die Ausgüsse und Knochen des 82jährigen Greises in derselben Anordnung auf der linken Hälfte des Bildes.

Taf. I.